

ANALYSIS OF HYDROCARBON–OIL OR RAPS–OIL FUELED DIESEL ENGINE EXHAUST EMISSIONS OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS AND ALDEHYDES

Karol Ekert

*Institute of Aeronautics Al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa
tel.: +48 22 846 08 01 w 618 fax: +48 22 846 44 32 e-mail: ekert@ilot.edu.pl*

Abstract

Paper presented results of research and analysis of selected Polycyclic Aromatic Hydrocarbons PAH and Aldehydes A emissions in diesel engine exhaust. Transport truck diesel engine was fuelled with hydrocarbon Diesel Oil DO fuel or Raps Oil Methyl Esters ROME fuel. Results of the PAH and A emissions research were compared to results of emissions research of basic components: solid Particulate Matter PM, Carbon Monoxide CO, total Hydrocarbons HC and Nitrogen Oxides NOx.

Research and analysis fuel composition and exhaust emission were compared to selected engine running parameters and combustion process research. Computational models and research-and-computational algorithms of total and specific PAH and A emissions estimations were formulated. Results of research were analysed with the help of the computational system, named CAER (Computer Aided Emission Research).

Applied all research methods presented here, with use of Gas Chromatograph-Mass Spectrometer (GC-MS) analysis system. Most components of engine exhaust were qualitative identified. Mass emissions of selected PAH (benzene, toluene, meta i paraksylene, pseudokumene and other) and A (acetaldehyde, formaldehyde, propionaldehyde, acroleine and other) were designated.

Formulated conclusions presented here refer to trends of emission changes of selected PAH and A components for engines fuelled with DO or ROME fuel.

ANALIZA EMISJI WIELOPIERŚCIENIOWYCH WĘGLOWODORÓW AROMATYCZNYCH I ALDEHYDÓW W SPALINACH SILNIKA Z ZAPŁONEM SAMOCZYNNYM ZASILANEGO OLEJEM NAPEĐOWYM LUB PALIWEM RZEPAKOWYM

Streszczenie

W pracy opisano wyniki badań i analiz emisji wielopierścieniowych wybranych węglowodorów aromatycznych PAH i aldehydów A w spalinach silnika z zapłonem samoczynnym. Silnik stosowany w samochodach ciężarowych, zasilano węglowodorowym olejem napędowym DO lub estrem metylowym oleju rzepakowego ROME. Wyniki badań emisji PAH i A powiązано z wynikami badań emisji głównych składników spalin: cząstek stałych PM, tlenku węgla CO, węglowodorów łącznie HC i tlenków azotu NOx.

Badania i analizy składu paliw i emisji spalin porównano z wybranymi parametrami pracy silnika i procesu spalania. Opracowano modele i algorytmy badawczo-obliczeniowe umożliwiające porównania emisji bezwzględnych i względnych PAH i A. Rezultaty badań i obliczeń porównawczych opracowano przy pomocy rozwijanego w Instytucie Lotnictwa Systemu CAER (Komputerowy System Wspomagania Badań Emisji Silników).

Opisano stosowane metody badawcze, w tym analizy z wykorzystaniem systemu chromatografu gazowego z detektorem widma masowego (GC-MS). Wykryto i zidentyfikowano jakościowo kilkadziesiąt składników spalin. Oznaczono emisję masową wybranych PAH (benzen, toluen, meta i para ksylen, pseudokumen i inne) oraz A (aldehyd octowy, formaldehyd, aldehyd propionowy, akroleinę i inne).

Wyciągnięto wnioski dotyczące kierunków zmian emisji spalin oraz wybranych składników PAH i A przy zasilaniu silnika paliwem DO lub ROME.

1. Wstęp

Zainteresowanie badaczy pełną analizą składu spalin silnikowych wzrasta równolegle z ewidencją szkód, jakie poszczególne składniki spalin powodują w środowisku naturalnym oraz w zdrowiu ludzi. Wymusza to wprowadzanie ustawowych ograniczeń obejmujących stopniowo coraz większą liczbę składników spalin. Również poziom emisji składników pochodzących z silników spalinowych zasilanych paliwami roślinnymi lub paliwami węglowodorowymi będzie drastycznie ograniczany w najbliższych latach przez przepisy urzędowe wielu krajów. Wprowadzane są ograniczenia ustawowe obejmujące coraz większą liczbę składników spalin. Ograniczenia zaczęły obejmować szereg składników występujących w ilościach śladowych. Wśród tych składników są szczególnie szkodliwe wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne PAH oraz aldehydy A. Wymagają one zastosowania skomplikowanych i kosztownych metod analitycznych.

W artykule omówiono wybrane wyniki prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w Instytucie Lotnictwa nad rozszerzeniem wiedzy o emisji spalin z silników. Ważnym celem tych prac jest obniżenie emisji spalin badanych silników. Istotnym czynnikiem wpływającym na emisję są rodzaje, właściwości i skład stosowanych paliw. Szczególną uwagę zwrócono na relacje zachodzące pomiędzy składem paliw i składem spalin (w tym występujących w ilościach śladowych PAH i A). Analiza objęła również zróżnicowanie emisji spalin silnika zasilanego typowym paliwem węglowodorowym lub biopaliwem.

Badania objęły parametry silnika i paliw oraz rozszerzony skład spalin w tym występujące w ilościach śladowych szeregi węglowodorów z grupy wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych PAH oraz aldehydów A [1], [2]. Celem było wykrycie i identyfikacja jakościowa możliwie dużej liczby śladowych składników spalin oraz oznaczenie ilościowe masy wybranych składników z grup węglowodorów i aldehydów. Z grupy PAH oznaczono benzen, toluen, meta- i para-ksylen, pseudokumen oraz kilka innych z 83-u węglowodorów wykrytych jakościowo. Z grupy A oznaczono aldehyd octowy, formaldehyd (aldehyd formalinowy lub mrówkowy), aldehyd propionowy oraz szczególnie groźny aldehyd akroleinowy (akroleinę) z 11-u aldehydów wykrytych jakościowo. Główny ciężar pracy polegał na opracowaniu i zastosowaniu oryginalnych metod analitycznych do wykrywania jakościowego oraz oznaczenia ilościowego z wykorzystaniem systemu chromatografii gazowej z detektorem widma masowego (System GC-MS).

Opracowano matematyczne modele obliczeniowe umożliwiające przetworzenie wykrytych i oznaczonych ilościowo składników do wielkości względnych w układzie odnoszącym się do parametrów eksploatacyjnych silnika. Szczególnie ważny był względny wydatek emisji dowolnej substancji w spalinach odniesiony do jednostki pracy silnika. Wykryte i oznaczone ilościowo ważniejsze składniki rozszerzonego składu spalin odniesiono do parametrów pracy typowego silnika. Silnik stosowany do napędu samochodów ciężarowych, zasilano kolejno olejem napędowym DO lub paliwem rzepakowym ROME.

2. Aktualny stan badań składników spalin

W procesach spalania zachodzących w silnikach spalinowych powstaje kilkaset różnego rodzaju związków, z których część jest stosunkowo dobrze rozpoznana [3], [4], natomiast większość oddziałuje szkodliwie na człowieka i przyrodę oraz jest identyfikowana przy pomocy złożonych metod analitycznych [4]. Metody te umożliwiają badania rozpoznawcze wielu składników występujących w śladowych ilościach w spalinach silników takich, jak jedno i wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne oraz aldehydy [5], [6]. Badania te często ograniczone są do wycinkowych zagadnień takich, jak badania wpływu spalania jednego typu paliwa na emisję PAH w spalinach silnika [5] czy badań monocyklicznych (jednopierścieniowych) węglowodorów w spalinach samochodowych [6]. Od wielu lat

rozwijane są badania mechanizmów prowadzących do powstawania podstawowych toksycznych składników spalin, którymi były: tlenek węgla (CO), suma węglowodorów (HC), tlenki azotu (NO_x), cząstki stałe (PM) oraz dwutlenek siarki (SO₂) i ołów (Pb). Poziom wymienionych substancji jest stopniowo ograniczany przez przepisy urzędowe [7], [8].

Ostatnio zainteresowanie badaczy i ustawodawców kieruje się na inne szkodliwe substancje i w związku z tym wprowadzany jest obowiązek badań wielu śladowych składników spalin. Prognozy dotyczące ogólnych tendencji w kontroli i urzędowych ograniczeniach wskazują na znaczne rozszerzenie liczby ograniczanych składników [7]. Przykładowo norma ISO/CD 8178, dotyczy badań CO, CO₂, O₂, HC, NMHC, NO_x, SO₂, NH₃, N₂O, HCHO, CH₃HO w spalinach silników spalinowych [8]. Wymieniona norma [8] jest wprowadzana aktualnie w krajach Unii Europejskiej oraz w Polsce.

Szczególnie trudna do ograniczenia metodami technicznymi i innymi jest emisja cząstek stałych PM (Particulate Matter), którego najgroźniejszą dla zdrowia częścią są cząsteczki o bardzo małych rozmiarach - nanocząsteczki (Nanoparticulates) [10], [11]. Emisja PM zawiera w sobie nie tylko czysty węgiel C lecz również cięższe frakcje węglowodorowe (w tym PAH). Frakcje te powstają w wyniku złożonych reakcji utleniania, krakingu i polimeryzacji węglowodorów znajdujących się w składzie paliw. Istnieją ścisłe zależności pomiędzy wielkością udziału węglowodorów aromatycznych w paliwach a powstawaniem i emisją sadzy silnikowej, tlenku węgla CO i węglowodorów HC oraz poziomem emisji PAH i aldehydów w spalinach. Wymienione substancje powstają w wyniku rozgałęzionych reakcji spalania zachodzących w warunkach płomienia laminarnego a następnie turbulentnego, uzależnionego również od kształtu komory spalania i systemu spalania silników [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]. Interesujące analogie pomiędzy powstawaniem sadzy w płomieniu laminarnym a powstawaniem sadzy w komorze spalania silnika z zapłonem samoczynnym w powiązaniu ze zmianami struktury węglowodorów aromatycznych omówiono w pracy [12]. Na decydujący wpływ składu paliw, w tym ilości i struktury węglowodorów aromatycznych w powstawaniu emisji cząstek stałych w spalinach silników zwrócono uwagę w pracach [13] i [14]. W pracy [15] przebadano wpływ dodawania do paliwa wybranych węglowodorów aromatycznych (toluen i metylonaftalen) oraz utleniaczy (metanol, etanol i inne) na zmiany zadymienia spalin oraz emisję składników gazowych z silnika. Zmiany emisji spalin silnika zasilanego paliwami gazowymi omówiono w pracy [17].

W odróżnieniu od węglowodorów aromatycznych PAH, których część powstaje w wyniku złożonych reakcji spalania a część pochodzi bezpośrednio z paliw, emisja aldehydów w spalinach powstaje w wyniku utleniania szeregów węglowodorów znajdujących się w paliwie. Interesujące podsumowanie wybranych prac dotyczących powstawania aldehydów w silnikach w zależności od właściwości i składu paliw w powiązaniu z emisjami CO, HC i NO_x przedstawiono w pracy [18]. Mechanizm powstawania formaldehydu w różnych warunkach pracy silnika z komorą wstępną, zasilanego paliwem z dodatkami metanolu oraz uwzględnioną rolą rodników OH omówiono w pracy [19].

Jak wynika z powyższych uwag istnieje potrzeba rozszerzenia liczby identyfikowanych składników spalin silnikowych o szereg toksycznych składników śladowych. Z poznawczego punktu widzenia niezbędna jest identyfikacja możliwie pełnego składu spalin dla opracowania bilansu masy składników spalin oraz składników elementarnych biorących udział w procesie spalania (węgiel, wodór, siarka i tlen). Do tej pory w niewielu ośrodkach badawczych na świecie przeprowadzono pełną analizę spalin silnikowych. Analizy te często sprowadzały się do jakościowej identyfikacji szeregu substancji występujących w spalinach pobieranych w bliżej niezidentyfikowanych warunkach pracy silnika. Znaleziono kilkaset składników spalin rozwijając metody analityczne z wykorzystaniem chromatografii gazowej (GC), chromatografii cieczowej (LC), chromatografii gazowej połączonej z analizą składników przy pomocy spektrometru masowego (GC-MS), spektrofotometrii (SF) oraz laserowej

transformacji Fouriera w podczerwieni (FLT-IR)-(Fourier Laser Transformer-Infra Red) [4], [5], [6]. Na szczególną uwagę zasługują próby zastosowania aparatury typu FLT-IR wykorzystanej do analizy 24 składników w sposób ciągły, z próbkowaniem 1-sekundowym [18]. Większe możliwości badawcze można osiągnąć przez zastosowanie aparatury wykorzystującej quadrupolowy spektrometr masowy z obiegiem hiperbolicznym (RHQ-MS)-(Round Hiperbolic Quadrupole Mass Spektrometer) zastosowanej do ciągłej analizy węglowodorów w spalinach silnikowych z próbkowaniem 1-milisekundowym [20]. Aparaturę typu (RHQ-MS) w połączeniu z chromatografem gazowym w układzie GC-RHQ-MS zastosowano również w pracy [21] do analizy PAH z próbkowaniem 1-sekundowym podczas badań stanowiskowych trakcyjnych silników samochodowych.

W istniejącej literaturze brakuje kompleksowego opisu ilościowego powiązania poziomu wielu składników spalin z parametrami pracy silnika w różnych warunkach eksploatacji. Znajomość związków między emisją spalin a parametrami pracy silnika pozwoli lepiej poznać naturę występujących zjawisk oraz przygotować założenia metod badawczych umożliwiających z większą dokładnością oznaczyć najważniejsze i najgroźniejsze dla zdrowia składniki spalin: benzen, toluen i inne z grupy węglowodorów oraz formaldehyd, aldehyd octowy, akroleinę i inne z grupy aldehydów. Wszechstronne badania pełnego składu spalin pozwolą również na próby ograniczenia metodami technicznymi, regulacyjnymi i innymi poziomu emisji szczególnie groźnych dla zdrowia składników spalin.

3. Badania w systemie GC-MS oraz modele emisji spalin w systemie CAER

Badany silnik, paliwa i metody analiz spalin na chromatografie GC-MS

Do badań wytypowano typowy turbodoładowany 4-o cylindrowy silnik z zapłonem samoczynnym i bezpośrednim wtryskiem paliwa do toroidalnej komory spalania. Silnik stosowany do napędu samochodów ciężarowych, posiada moc nominalną 78 kW przy 2600 r/min i maksymalny moment 400 Nm przy 1400 r/min. Podstawowe parametry: objętość skokowa 4,561ccm, średnica tłoka 110 mm, skok tłoka 120 mm, stopień sprężania 17.

W omawianych badaniach stosowano typowy olej napędowy DO typu Ekodiesel PlusB (liczba cetanowa 50, gęstość 0,82mm²/sek) i paliwo rzepakowe ROME typu EPAL (liczba cetanowa 52, gęstość 0,86 mm²/sek).

Zostało zbudowane specjalne stanowisko z układem pobierania i zagęszczania spalin silnika w systemie obejściowym. W układzie tym spaliny z kolektora wydechowego pobierane były przez sondę i następnie rozdzielane na dwie drogi gazowe z wyspecjalizowanymi rurkami sorbentowymi.

Do analizy węglowodorów stosowano rurki sorbentowe wypełnione węglem aktywowanym. Substancje zaabsorbowane następnie desorbowano dwusiarczkiem węgla. Do analizy aldehydów zastosowano rurki sorbentowe wypełnione 2-hydroksymetylopiperidyną (2-HMP) na nośniku XAD-2. Substancje zaabsorbowane desorbowano toluenem.

Analizy składników spalin desorbowanych z wyspecjalizowanych rurek sorbentowych prowadzono na chromatografie gazowym firmy Hewlett-Packard model HP-5890II, wyposażonym w detektor widma masowego HP-MSD-5972, komorę nastrzykową (typu split/splitless) oraz kolumnę kapilarną typu HP-PONA o długości 50 m, średnicy 0,2 mm z filmem fazy stacjonarnej o grubości 0,5 μm [2].

Opracowano 2 grupy metod chromatograficznych różniących się przebiegiem programowanych temperatur i ciśnień, przy których następował rozdział na kolumnie kapilarnej: I grupa (kody SOLV... i ILSIM... do identyfikacji jakościowej oraz oznaczania ilościowego węglowodorów w paliwach węglowodorowych i spalinach), II grupa (kody BC9... i ALDEHYD... do identyfikacji estrów kwasów tłuszczowych w paliwie rzepakowym oraz aldehydów w spalinach).

Modele badawczo – obliczeniowe emisji spalin w systemie CAER

Prowadzone w Instytucie Lotnictwa prace w dziedzinie badań składników gazowych i cząstek stałych spalin silników [1], [2], [9], [10], [11], [22], [23], [24], [25] pozwoliły poznać zjawiska i mechanizmy prowadzące do powstawania podstawowych składników spalin oraz modelować emisję. Większość badań wykorzystywało oryginalny system CAER (Computer Aided Emission Research - Komputerowy System Wspomagania Badań Emisji Silników). Modele emisji względnej śladowych składników spalin e_t (toksyn-t) opracowano wykorzystując doświadczenia zebrane przy rozwijaniu systemu CAER. Modele emisji względnej odnoszono do jednostki pracy wykonanej przez silnik.

4. Wyniki badań i analiz

Skład paliw DO i ROME

Przy pomocy metody SOLVW5 opisanej w rozdziale 3 przebadano próbki paliw oleju napędowego DO typu Ekodiesel Plus B. W próbce badanego oleju napędowego wykryto i zidentyfikowano jakościowo 83 substancji. Ponad 47% (masowo) wszystkich substancji zawartych w paliwie stanowiło 14-e węglowodorów alifatycznych (n-alkany). Inne wykryte węglowodory to m. inn. benzen, toluen, ksylen, etylotoluen, hemimeliten, propylotoluen, pseudokumen, oktyldekan oraz inne charakterystyczne dla olejów napędowych.

Pełny skład paliwa rzepakowego ROME typu EPAL oznaczono stosując metodę SOLVW5 (por. rozdz. 3). Wykryto i oznaczono 10 estrów metylowych o liczbach atomów węgla w cząsteczce od 16 do 22. Okazało się, że około 96% masowego składu paliwa rzepakowego ROME są to estry metylowe 4-ch kwasów: palmitynowego, linolowego, linolenowego i oleinowego. Pozostałe oznaczone estry metylowe pochodzą z 6-u kwasów: elaidynowego, stearynowego, gondowego, arachidowego, erukowego i behenowego.

Węglowodory w spalinach silnika zasilanego paliwem DO oraz zjawisko konwersji

Wykrywanie i jakościową identyfikację węglowodorów w spalinach silnika zasilanego paliwem DO wykonano stosując metodę SOLVW3 (por. rozdz.3). W spalinach wykryto większość składników oznaczonych w paliwie (por. rozdział 4). Ważniejszymi węglowodorami wykrytymi w spalinach (poza podanymi w rozdziale 4) są: etan; butan; propan; propen; propenal, cyklobutan, oktyldekan; pentan; propyldekan; metylcyklopropan; heksan, propanol, etanol, metylopropanal; oksiran i inne.

Podjęto próbę analizy zjawiska konwersji (stopnia wypalenia) węglowodorów z paliwa do spalin. Zjawisko konwersji można oceniać na podstawie zwiększenia lub zmniejszenia względnych udziałów mas poszczególnych węglowodorów występujących w paliwie i spalinach. Oznaczono ilościowo masy szeregu 20-u węglowodorów w paliwie DO i spalinach silnika: n-heksan, benzen, toluen, etylobenzen, m,p-ksylen, styren, o-ksylen, kumen, n-propylobenzen, 3etylotoluen, 4etylotoluen, mezytylen, 2etylotoluen, pseudokumen, hemimeliten, indan, 1,3dietylobenzen, propylotoluen, 1,4dietylobenzen, 1,2dietylobenzen. Stopień wypalenia niższych węglowodorów benzenu i toluenu był mniejszy i wzrastał dla wyższych węglowodorów. Stopień wypalenia większości 20-u węglowodorów (z wyjątkiem benzenu) był większy w spalinach silnika przy większych prędkościach obrotowych.

Aldehydy w spalinach silnika zasilanego paliwami DO lub ROME

Aldehydy w zagęszczonych próbkach pobranych ze spalin silnika zasilanego paliwami (DO lub ROME) identyfikowano, stosując metodę ALDEHYD4 (por. rozdz. 3), na podstawie charakterystycznych jonów masowych, pochodnych z 2-hydroksymetylopiperydyną. Wykryto

i oznaczono 11 aldehydów: formalinowy (formaldehyd), octowy, propionowy, akroleinowy (akroleina), n-masłowy, izomasłowy (2-metylpropanal), krotonowy, n-walerianowy (pentanal), izowalerianowy (3-metylobutanal), kapronowy (heksanal) i heptyłowy.

Największy względny udział w spalinach silnika zasilanego badanymi paliwami DO lub ROME. wykazuje aldehyd octowy w porównaniu z innymi wykrytymi aldehydami.

Wyniki badań silnika przetworzone w Systemie CAER

Na podstawie modeli emisji (por. rozdział 3) obliczono i przetworzono w systemie CAER wielkości uzyskane z badań. W tabeli nr 1 porównano wybrane parametry pracy oraz emisji spalin a w tabeli nr 2 porównano emisje testowe silnika wg Regulaminu ECE R49

Tab. 1. Porównanie parametrów pracy i jednostkowych emisji spalin silnika (paliwo DO i ROME)

Tab. 1. Specific Exhausts Emission and Engines Parameters comparison (DO and ROME Fuel)

Parametr	Symbol	Miano	DO		ROME	
	n	obr/min	1440	2400	1440	2400
Moc	N_e	kW	56,13	77,67	56,13	77,67
Zużycie paliw	g_c	g/kWh	218,1	263,0	247,0	296,0
Wydatek spal.	G_{sprz}	kg/h	329,6	552,3	327,2	548,1
Wsp.nadmiaru	L	-	1,791	1,799	1,561	1,578
Gęstość spalin	RO_{sp}	kg/m ³	1,305	1,309	1,306	1,310
CO	eCO	g/kWh	0,8	1,4	0,5	1,2
HC	eHC	g/kWh	0,763	1,097	0,509	1,109
NOx	eNOx	g/kWh	6,59	4,06	6,97	4,11
PM	ePM	g/kWh	0,13	0,15	0,01	0,05
SO ₂	eSO ₂	g/kWh	0,114	0,137	0,004	0,005
Benzen	e_B	g/kWh	0,00171	0,01004	0,00098	0,00388
Toluenu	e_T	g/kWh	0,02974	0,04030	0,01535	0,03890
PAH	e_{PAH}	g/kWh	0,03145	0,05486	0,01633	0,04279
A	e_A	g/kWh	0,02744	0,15373	0,03213	0,10474

Tab. 2. Porównanie emisji testowych (ECE R49) silnika (Paliwo DO i ROME)

Tab. 2. Test Emission (ECE R49) comparison (DO and ROME Fuel)

Emisja ECE R49	Miano	Paliwo DO	Paliwo ROME
CO	g/kWh	1,31	1,09
HC	g/kWh	1,26	0,89
NOx	g/kWh	6,03	6,23
PM	g/kWh	0,28	0,12

Analiza wyników badań silnika zasilanego paliwami DO lub ROME

Wielkości emisji testowych CO, HC, PM i NOx (Tab.2.) wskazują na wyraźne związki i korelacje z wielkościami emisji węglowodorów eHC, cząstek ePM, benzenu, toluenu oraz sum PAH i sum aldehydów A przytoczonymi w tabeli 1. Pomimo znacznych różnic w składzie badanych paliw (DO i ROME) produkty spalania wykazują duże podobieństwo. Benzen w znaczących ilościach występuje w spalinach silnika zasilanego DO, natomiast w silniku zasilanym ROME pojawia się przy maksymalnej mocy. Akroleina została

zidentyfikowana w obu badanych zakresach pracy. Pozostałe zidentyfikowane jakościowo węglowodory i aldehydy występowały niewiele powyżej progu wykrywalności stosowanych metod. W składzie oleju napędowego DO znajdują się węglowodory jedno i wielopierścieniowe, z których część jest spalana prawie całkowicie, a część wypalana w różnym stopniu (zjawisko konwersji). Badany silnik wykazuje wyższe emisje badanych węglowodorów i aldehydów w przypadku zasilania paliwem DO, natomiast niższe przy zasilaniu paliwem ROME. Analiza wyników badań pozwala przypuszczać, że przebiegi rozgałęzionych reakcji chemicznych powodujących powstawanie poszczególnych węglowodorów i aldehydów zależą w większym stopniu od rozkładu temperatur, czasów reakcji, prędkości obrotowej silnika i współczynnika nadmiaru powietrza a w mniejszym stopniu od składu chemicznego paliwa. W początkowym okresie procesu spalania następuje rozpad paliwa na składniki elementarne. Następnie w wyniku syntezy oraz rozgałęzionych reakcji powstają wykryte w spalinach składniki, co może być przedmiotem odrębnych pogłębionych analiz.

5. Podsumowanie

Opracowano metody absorbowania i zagęszczania spalin w rurkach z selektywnym absorbentem do wychwytywania węglowodorów i aldehydów oraz metody chromatograficzne w systemie GC-MS służące do rozdziału, wykrywania i oznaczania jakościowego i ilościowego poszczególnych składników. Metodyki te sprawdzono i zastosowano w praktyce badawczej oraz przeprowadzono analizy porównawcze rozszerzonego składu spalin przy pomocy rozbudowanych modeli emisji Systemu CAER.

Literatura

- [1] Ekert K., Rusin M., Mazurkiewicz J., „Badania rozszerzonego składu komponentów toksycznych spalin silników spalinowych-Sprawozdanie podsumowujące”. Sprawozdanie Instytutu Lotnictwa Nr BT1.369/2000. Projekt nr 9T12D 044 14,2000.
- [2] Wesołowski W., „Analiza składu spalin na chromatografii GC-MS”. Raporty. Biblioteka Instytutu Lotnictwa. Warszawa, 2000.
- [3] Heywood J. B., „Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill Book Company”. Series in mechanical engineering. USA 1988.
- [4] Namieśnik J., Jamrógiewicz Z., - praca zbiorowa: „Fizykochemiczne metody kontroli zanieczyszczeń środowiska”. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1998.
- [5] Hori S., Nasugawa K., „Fuel Composition Effects on SOF and PAH Exhaust Emissions from DI Diesel Engines” . 1998 SAE International Congress and Exposition. February 23-26, 1998. Cobo Centre, SAE 980507, Michigan USA 1998.
- [6] Donati J., Viellard H., „La Pollution Automobile due aux hydrocarbures aromatiques monocycliques a Paris Armie Coursimault”. 3rd Tutern, Symposium „Transport and Air Pollution” Avignon 1994.
- [7] Welsh M. P., „Global Trends in Diesel Emission Control - A 1998 Update”. 1998 SAE International Congress and Exposition. February 23-26, 1998. Cobo Centre, Detroit, SAE 980186, Michigan USA 1998.
- [8] ISO-8178. „Reciprocating internal combustion engines - Exhaust emission measurement. Part 1-7”. Norma wprowadzana w Polsce jako Projekt PN-ISO nr 8178, Części 1-7 i EURO. Zalecenia Doradczej Grupy Roboczej (Consultin Working Group).
- [9] Zabłocki M., Ekert K., „Podstawowe problemy ekologicznego rozwoju silników spalinowych. Fundamental Questions of Ecological Development of Engines”. IIISymposium Naukowe EKODIESEL'96. Warszawa, 25÷26.04.1996r. Wydanie specjalne kwartalnika PRACE INSTYTUTU LOTNICTWA ISSN 0509-6669.

- [10] Zabłocki M., Ekert K., „Emisja nanocząstek nowym wyzwaniem dla silników z zapłonem samoczynnym. Nanoparticulates Emission the New Challenge for the Diesel Engines”. IV Sympozjum Naukowe EKODIESEL'98. Warszawa, 22÷24.04.1998r. Wydanie specjalne kwartalnika PRACE INSTYTUTU LOTNICTWA ISSN 0509-6669.
- [11] Ekert K., „Struktura emisji cząstek stałych. Sprawozdanie podsumowujące. Opracowano przy pomocy systemu CAER-COPART”. Sprawozdanie Instytutu Lotnictwa Nr BT1.333/98. Projekt Badawczy nr 9T12D 009 09,1998.
- [12] Lodommatos N., Rubenstein B., Harrison K., Xiao Z., Zhao H., „The effect of aromatic hydrocarbons on soot formation in laminar-diffusion flames and in a diesel engine” . Journal Institute of Energy, LXX (484), 84-94, 1997.
- [13] Flanigan C.T., Litzinger T.A., Graves R.L., „The effect of aromatic and cycloparaffins on DI diesel emissions”. SAE paper 892130, 1989.
- [14] Fukuda M., Tree D.R., Foster D.E., Suhre B.R., „The effect of fuel aromatic structure and content on direct injection diesel engine particulates”. SAE paper 920110, 1992.
- [15] Xiao Z., Lodommatos N., Zhao H., „The effect of aromatic and oxygenates on diesel engine emissions”. Journal of Automobile Engineering, Proceedings Part D, Vol 214 No D3, ISSN 0954-4070, 2000.
- [16] Huang Z., Miao H., Zhou L., Jiang D., „Combustion characteristics and hydrocarbon emissions of spark ignition engine fuelled with gasoline-oxygenate blends”. Journal of Automobile Engineering, Proceedings Part D, Vol 214 No D3, ISSN 0954-4070, 2000.
- [17] Liu Z., Karim G.A., „An examination of the exhaust emissions of gas fuelled diesel engines”. ASME Int., 1997, 256-262, 1997.
- [18] Prescher K., Stieper K., Groth K., Stanev A., Lange J., Berndt S., „Die Aldehydemission von Dieselmotoren in Abhängigkeit von der Kraftstoffqualität”. Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e.V. (FVV)1, MTZ 06 1997.
- [19] Ishiguro F., Nishimoto K., Tanaka T., Senda J., Fujimoto H., „Combustion characteristics of neat methanol in IDI diesel engine - mechanism of formaldehyde formation”. Journal of SAE-Review, B 14, H2, S. 36-43, 1993.
- [20] Matz G., Schröder W., Gohl M., „Online measurement of oil-compounds in the exhaust gas of combustion engines by mass spectrometry”. Pittcon'99, Orlando, Florida, 1999.
- [21] Matz G., Walte A., Münchmeyer W., Rikeit H.E., „Measurement of Aromatic Compounds in Automobile Exhaust Gases with Quadrupole Mass Spectrometry with an On-Line-Probe and an Automatic Tenax-Sampler”. SAE'96, Detroit, 1996.
- [22] Ekert K., „Research and Computation of Atmosphere Pollution Generated by I.C. Engines”. 29th International Scientific Conference on Internal Combustion Engines. KONES 2003. September 14-17, 2003, Wisła, Poland.
- [23] Ekert K., Mazurkiewicz J., Rusin M., „Measurement of Aromatics and Aldehydes Emission from Direct Injection Diesel Engine”. Twenty-Eighth International Symposium on Combustion. Edinburgh, Scotland, 30th July-4th August, 2000.
- [24] Ekert K., „Ogólna teoria estymacji emisji zanieczyszczeń z aplikacjami silnikowymi”. Kwartalnik Naukowy PRACE INSTYTUTU LOTNICTWA nr 3/174, Warszawa,2003.
- [25] Ekert K., „Analysis of Particulate Matter Emission Changes with Raps Fuel Powered of Diesel Engine” 30th International Scientific Conference on Internal Combustion Engines. KONES 2004. September 12-17, 2004, Zakopane, Poland. Journal of KONES. Internal Combustion Engines, Vol. 11, No. 1-2, Warsaw, 2004.

Podziękowanie

Autor składa podziękowanie Komitetowi Badań Naukowych za finansowanie przeprowadzonych badań w ramach kilku Projektów Badawczych.